

## 大阪大学グローバルCOEプログラム

### 物質の量子機能解明と未来型機能材料創出拠点について



夢はバラ色

北岡良雄\*

Core Research and Engineering of Advanced Materials-Interdisciplinary  
Education Center for Materials Science

Key Words : quantum materials, molecule electronics,  
spintronics optronics, quantronics

はじめに

物理学を基礎にミクロな原子の世界とマクロな物質の性質の関連を明らかにする物性物理学における新しい発見や発展は、工学に新しい応用研究領域を生み出し、産業の飛躍的進展を引き起こしてきました。21世紀の増大するエネルギー需要に応えるため省資源で環境にやさしい次世代先端科学技術の開発が人類的な重要課題となっている現状を踏まえ、磁性体、超伝導体、誘電体、半導体、有機物質、生物物質の根幹となる分子・原子・電子の動きを解明・制御し、電子、スピン、フォトンで情報を伝達する未来材料を創成することにより、省資源、省エネルギー化を実現し、21世紀の豊かな社会の発展に貢献することが、本グローバルCOE 拠点の使命と考えています。本拠点では次のような研究教育活動を展開します。1. 物質の新しい量子機能の解明を通して「物質科学における未踏の学理の確立」を目指す基礎研究。2. 多様な自然の解明と共に知の活用として、分子エレクトロニクス、スピントロニクス、オプトロニクス、量子情報処理に関わるクオントロニクスなど次世代先端科学技術分野を開拓する先端応用研究。3. 発想力に溢れた研究者・技術者、課題設定・解決能力のある、打たれてもへこたれない「出る杭人材」の育成。特に人材育成についての目標としては、既存の縦割りの大学院専攻教育プログラムから脱却した「グローバルCOE 人材育成特区」としてのブランド力によって、アカデミアのみならず、企業からも高く評価される人材輩出拠点形成を成し遂げたいと考えています。以下に具体的な研究目標を紹介します。

#### 1. 多元環境下の量子物質相の研究

強相関電子系の超伝導と磁気秩序の融合相の機構解明、重い電子系の新奇な超伝導物質創製と多元環境下での物性測定による超伝導発現機構解明、これまでのものよりさらに高温で発現する新しい高温超伝導物質を創製、さらに、固体物性（磁性、強誘電

性、構造物性）の協奏・競合による新規電磁応答物質創製（電場による磁性制御）を通して、物性科学の新概念を確立することを目指します。これらの研究によって「ミクロな領域での原子、分子、スピン配置とそれに伴う電子状態がマクロ系の物性をいかに支配するか」を明らかにし、我が国における「物質科学」研究活動をより体系化し新しい展開を図ることを目標とします。



\*Yoshio KITAOKA

1951年7月生  
大阪大学基礎工学研究科・物理系専攻  
(1976年)修士  
現在、大阪大学大学院基礎工学研究科  
物質創成専攻・未来物質領域・教授  
理学博士 物性物理学  
TEL : 06-6850-6435  
FAX : 06-6850-6438  
E-mail : kitaoka@mp.es.osaka-u.ac.jp

#### 2. 量子機能の制御とデザインによる未来型機能材料創出研究

省資源・省エネルギーで人と環境に優しい社会の実現のため、希少元素の代替え材料の創成と、単一の電子・スピン・光によって情報の伝達を行う電子・光素子の開発と量子暗号をはじめとするセキュリテ

イーシステムの構築に向けた基本原理の導出を目指します。具体的には、クラーク数上位の鉄やアルミニウム、ケイ素、炭素を基本構成元素とする新奇物質の創成と電子およびスピンの注入と輸送機構の解明、超高速・超広帯域の光励起現象の解明などの基礎的知見を集積し、単一スピン制御による量子計算素子や分子スピントランジスター、単一光子発光トランジスターや量子コンピューターなどの非ノイマン型演算素子の実現を目標とします。

### 3. 地球にやさしい未来を拓く物性物理工学

電気抵抗ゼロで電流が流れ、エネルギーのロスがない超伝導を室温で実現するのは夢の技術です。当拠点は文科省 COE, 21世紀 COE と続いた 10 年間、高温超伝導に関する研究で数々の輝かしい研究実績を挙げています。多層型高温超伝導体の NMR (核磁気共鳴法) による研究によって、高温超伝導体の転移温度と母物質の反強磁性体の転移温度の高さに重要な関係があることを発見しました。超伝導と反強磁性という二つの性質は独立して存在するという定説を覆す可能性を持つとともに、高温超伝導がこれまでの常識では考えも及ばない磁石を生み出すのと同じ相互作用で説明できる可能性があることを示しました。室温超伝導を実現するために、転移温度の非常に高い反強磁性体に狙いを絞った物質探索の重要性に着目しています。似ても似つかないものに現象の融合があることがわかってきました。基礎科学は固定概念を変える発見を積み重ねて、それがさまざまな学問を進める契機となっています。

現象の融合とは、本来なら相いれない性質が同じ物質で共存している状態です。従来の研究分野に誘電体、磁性体、超伝導体、絶縁体、金属、半導体という区分けがありました。今日では、強誘電性も示すし磁性も示す、磁性体だが超伝導になるといった、今まで別々の分野と考えていた研究分野が、あるいは現象が融合・協奏していると言えます。そうした新しい量子現象の発見を土台に、新しいタイプの量子物質を創成し、それらの量子機能を解明する基礎研究グループと量子機能を活用する応用研究グループが本拠点を構成しています。

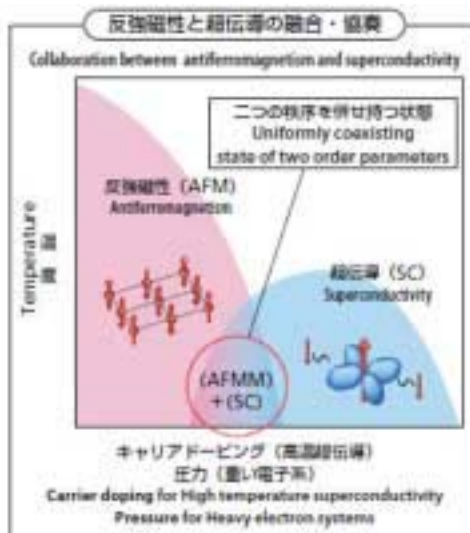
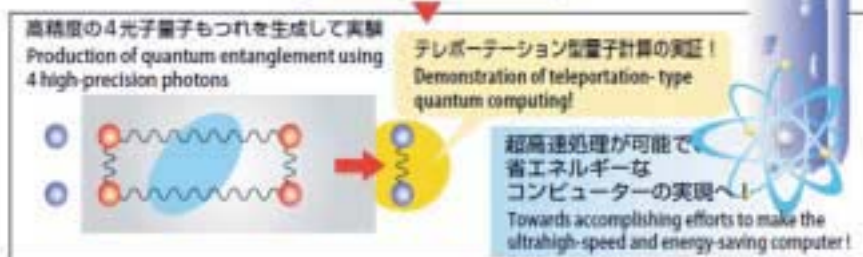
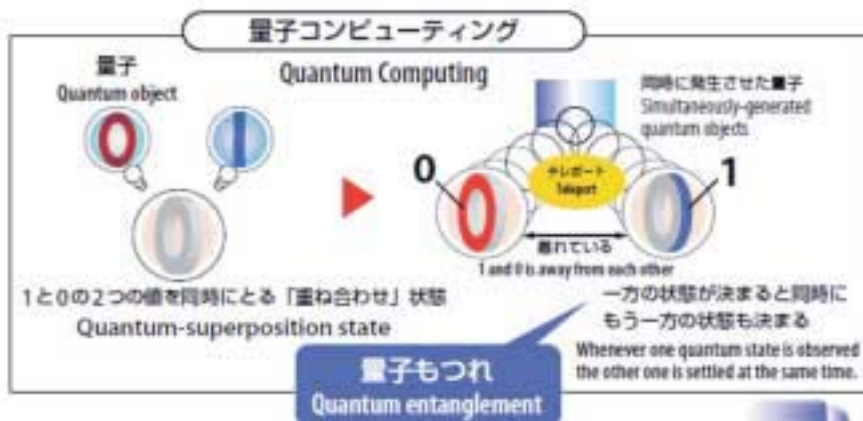
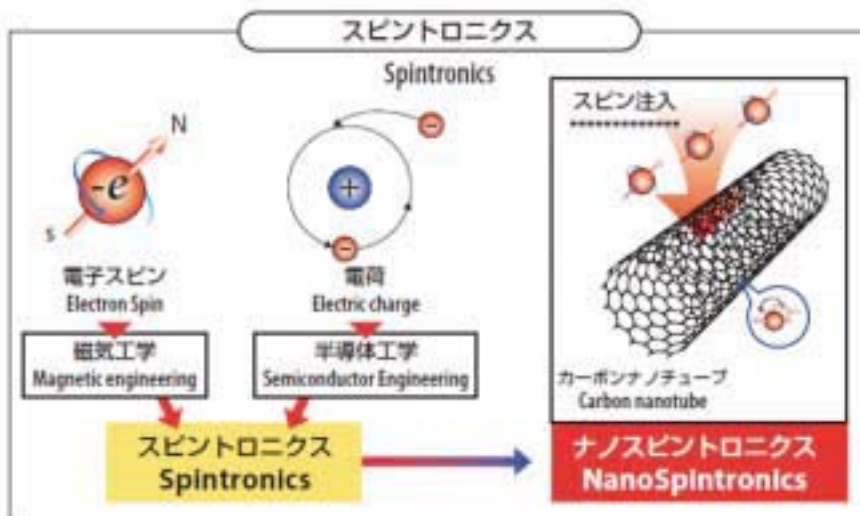
応用研究グループは、電子・分子・スピン・光にかかわる量子機能の制御とデザインがテーマです。そのターゲットには生命物質も入ってきています。

シリコンの微細加工に見られる、大から小へのトップダウンとは逆に、最初から小さいユニットで始める分子エレクトロニクスという分野があります。これはシリコンデバイスに代わる未来型デバイスです。1個の分子に電場をかけると電気が流れます。当面は高分子から始め、分子に金属をくっ付けて電気を流す。どういう分子がそれに適しているかを調べ、電子レベルで分子の働きを解明するのは物性物理の役割です。将来的には、生物分子へと発展させていくことを目指します。

一方、電子が持っている磁石の性質を使って次世代デバイスをつくる「スピントロニクス」という新技術が注目されています。従来の半導体デバイスは電荷(電気を伝える性質)をコントロールして、スイッチの ON・OFF でデジタルに対応してきました。スピントロニクスは電荷と電子スピン(磁石になる性質)という電子の持つ二つの性質を利用したデバイスです。「分子スピントロニクス」は、高品位なカーボンナノチューブ・フラーレンなどの新物質にスピンを注入して、その制御に取り組んでいます。

また 2008 年には、世界初のテレポーテーション型量子計算の実証に成功した研究もあります。これは従来のコンピューターとはケタ違いの計算能力を持つ「量子コンピューター」の実現に一步近づいたものです。NTT と共同の研究チームは、量子テレポーテーション(離れた場所に量子状態を転送する)を使った「一方向量子計算」に注目し、光子(フォトン)四つを使った実験によってテレポーテーション型量子計算を実証しました。

現在は、シリコンに多くの電子を流しているから、それを小さく狭くすると電気抵抗が増えて、微細化の限界を迎えます。数少ない1個のフォトンで電子を励起し、量子つまり1個の電子、1個の分子、1個のフォトンを操作することを目標とします。そのようなさまざまな量子機能を制御して、これまでの常識から外れた機能を持った未来型デバイスを創成し、地球環境を守る“持続可能な社会”の実現に貢献していくことを目指しています。



最後に本拠点の事業推進者を紹介いたします。関係各位のご支援とご協力をお願いする次第です。

氏名	所属・役職	本グローバルCOEでの役割
北岡 良雄	基礎工学研究科(物質創成専攻)・教授	全体統括、革新的多元環境下NMRを用いた新物理現象の発見と解明
三宅 和正	基礎工学研究科(物質創成専攻)・教授	強相関電子物理の探求と新しい超伝導機構の理論的探索
井元 信之	基礎工学研究科(物質創成専攻)・教授	量子情報処理に向けた光と物質の相互作用の解明 量子情報理論および実験
鈴木 義茂	基礎工学研究科(物質創成専攻)・教授	ナノ構造磁性体の作製とそれらを用いた新物理現象の発見と解明
多田 博一	基礎工学研究科(物質創成専攻)・教授	分子スケールエレクトロニクス素子の構築と基礎特性解
木村 剛	基礎工学研究科(物質創成専攻)・教授	新しい電磁応答物質の創製
吉田 博	基礎工学研究科(物質創成専攻)・教授	計算機ナノマテリアル・デバイスデザイン
関山 明	基礎工学研究科(物質創成専攻)・教授	先端的広エネルギー励起光電子分光の開発と強相関電子系の物性解明
草部 浩一	基礎工学研究科(物質創成専攻)・准教授	世界最高精度をもつ第一原理電子状態計算理論の開発と機能性新物質の設計
芦田 昌明	基礎工学研究科(物質創成専攻)・准教授	超広帯域時間領域分光法による超高速光学応答の解明とナノ構造物質の新奇創成・制御技術の開発
白石 誠司	基礎工学研究科(物質創成専攻)・准教授	分子系へのスピン注入現象を用いた新規素子の構築と単一スピン操作の実現
宮坂 博	基礎工学研究科(物質創成専攻)・教授	単一分子レベルの光化学反応に対するコヒーレント及びインコヒーレント制御手法の開発
清水 克哉	極限量子科学研究センター(量子基礎科学大部門)・教授	超高压発生を中心とした極限物性研究
萩原 政幸	極限量子科学研究センター(量子基礎科学大部門)・教授	超強磁場を利用した極限物性研究と生体物質研究
岡本 博明	基礎工学研究科(システム創成専攻)・教授	アモルファス・ナノ半導体の電子物性解明と新光電変換材料・デバイスの創成
占部 伸二	基礎工学研究科(システム創成専攻)・教授	レーザー冷却イオンを用いた量子情報処理
北川 勝浩	基礎工学研究科(システム創成専攻)・教授	スピンを用いた量子情報処理実験および理論
大貫 惇睦	理学研究科(物理学専攻)・教授	量子物質の創製、重い電子系の実験的研究
野末 泰夫	理学研究科(物理学専攻)・教授	ナノ構造量子物質の作製と新物性の発見と解明
田島 節子	理学研究科(物理学専攻)・教授	エキゾチック超伝導をはじめとする新奇量子現象の発見と解明
川村 光	理学研究科(宇宙地球科学専攻)・教授	フラストレート系の新奇秩序化現象の理論的研究
廣田 和馬	理学研究科(宇宙地球科学専攻)・教授	中性子・X線散乱を用いた極限環境下での強相関系および磁性体・誘電体の構造物性の研究
齋藤 伸吾	(独)情報通信研究機構(新世代ネットワーク研究センター)・主任研究員	テラヘルツ波を用いた半導体ナノ構造の微視的測定の開発
湯浅 新治	(独)産業技術総合研究所(エレクトロニクス研究部門)・スピントロニクスグループグループ長	エピタキシャルナノ構造磁性体の作製